

лектуальные материалы и структуры» проекта «Разработка методов модификации полимерных матриц, содержащих дисперсные и волокнистые

наполнители различной природы при создании умных многофункциональных материалов» (Номер темы FEFE-2020-0015).

### Список литературы

1. К.А. Шашкеев, В.С. Нагорная, И.А. Волков, С.В. Кондрашов, Т.П. Дьячкова, А.И. Кондаков, К.М. Борисов, Г.Ю. Юрков // *Журнал прикладной химии*, 2017.– Т.90.– №7.– С.896–906.
2. J. Vilcakova, R. Moucka, P. Svoboda, M. Ilcikova, N. Kazantseva, M. Hribova, M. J. Micusik, M. Omastova // *Molecules*, 2012.– №17.– P.13157–13174.
3. С.В. Кондрашов, К.А. Шашкеев, О.В. Попкова, Л.В. Соловьянчик // *Труды виаи.*, 2016.– №3.– С.54–64.
4. Grossiord N., Loos J., van Laake L., Maugey M., Zakri C., Koning C.E., Hart A.J. // *Adv. Funct. Mater.*, 2008.– V.18.– P.3226–3234.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НАНОРАЗМЕРНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ УРАН-ТОРИЕВОГО ДИСПЕРСИОННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

В.В. Сопыряев, Н.С. Хоцеловский, А.А. Каренгин  
Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Каренгин А.Г.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, [karengin@tpu.ru](mailto:karengin@tpu.ru)

У современной ядерной энергетики, использующей ядерное топливо (ЯТ) из диоксида урана, обогащенного по изотопу уран-235, есть недостатки: низкая теплопроводность, короткий цикл использования и ограниченный ресурс изотопа уран-235. При использовании изотопов торий-232 отпадает необходимость в дорогостоящем изотопном обогащении тория. Поэтому перспективным является создание дисперсионного ЯТ в виде топливных оксидных композиций (ОК), включающих оксиды делящихся металлов (уран, торий) распределенных в матрице с высокой теплопроводностью и низким поглощением нейтронов [1].

Для их энергоэффективного получения может быть использован плазмохимический синтез ОК из водно-органических нитратных растворов (ВОНР), имеющих низшую теплотворную способность не менее 8,4 МДж/кг [2].

Экспериментальные исследования процесса синтеза топливных ОК в воздушно-плазменном потоке проводились на лабораторном стенде «Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01» на модельных растворах ВОНР, включающих органический ком-

понент (ацетон) и смешанные водные нитратные растворы магния, неодима и церия, имеющих близкие свойства с делящимися металлами (уран и торий), и моделирующих плазмохимический синтез оксидных композиций «UO<sub>2</sub>-ThO<sub>2</sub>-MgO».

Подготовленные растворы ВОНР подавались с постоянным расходом (300 л/ч) в диспергатор и далее в диспергированном виде поступали в реактор, где в воздушно-плазменном потоке осуществлялся синтез модельных ОК при температуре  $T_p \geq 1000^\circ\text{C}$ . Контроль температуры осуществлялся высокоточным цифровым инфракрасным пирометром (IPE 140/45) по линии поглощения диоксида углерода. После реактора полученные ОК поступали в узел «мокрой» очистки (УМО), где происходило их резкое охлаждение (закалка) с получением водных суспензий, которые отстаивали, полученные осадки отделяли, фильтровали и прокаливали в течение 20 минут при температуре 150 °С.

В результате проведенных исследований установлены закономерности влияния состава растворов ВОНР, режимов их диспергирования, а также скорости закалки на физико-химические

свойства ОК (размер и морфология частиц, гранулометрический и фазовый состав, удельная поверхность).

Увеличение массовой доли матрицы (MgO) от 5 % до 30 % в составе ОК « $\text{Nd}_2\text{O}_3\text{--Ce}_2\text{O}_3\text{--MgO}$ » (при  $\alpha = \text{Nd}_2\text{O}_3 / (\text{Nd}_2\text{O}_3 + \text{Ce}_2\text{O}_3) = 0,1$ ), приводит при постоянном расходе воды на закалку ОК (2,8 кг/с) и частоте диспергатора (35 Гц) к увеличению размера ОК после УМО с 10,7 мкм до 13,9 мкм (метод лазерной дифракции). При этом удельная поверхность ОК увеличивается с 12,5 м<sup>2</sup>/г до 12,8 м<sup>2</sup>/г, а размер частиц (зерен) в составе ОК снижается с 78 нм до 76 нм (БЭТ-анализ).

Увеличение массовой доли матрицы (MgO) от 10 % до 30 % в составе ОК (при  $\alpha = 0,5$ ), приводит при увеличении частоты диспергатора до 50 Гц к снижению размера ОК после УМО с 9,8 до 9,3 мкм (метод ЛД). При этом удельная

поверхность ОК увеличивается с 13,1 м<sup>2</sup>/г до 16,4 м<sup>2</sup>/г, а размер частиц (зерен) в составе ОК снижается с 68 нм до 65 нм (БЭТ-анализ).

Увеличение массовой доли матрицы (MgO) от 10 % до 30 % в составе ОК (при  $\alpha = 0,7$ ), также приводит при частоте диспергатора 50 Гц к снижению размера образующихся ОК после УМО с 9,3 до 8,78 мкм (метод ЛД). При этом удельная поверхность ОК увеличивается с 13,9 м<sup>2</sup>/г до 15,4 м<sup>2</sup>/г, а размер частиц (зерен) в составе ОК увеличивается с 64 нм до 69 нм (БЭТ-анализ).

Результаты исследований могут быть использованы при создании технологии плазмохимического синтеза наноразмерных топливных оксидных композиций для уран-ториевого дисперсионного ЯТ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №18-19-00136).

### Список литературы

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. *Дисперсионное ядерное топливо*. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.
2. Ivan Yu. Novoselov, Alexander G. Karengin, Renat G. Babaev. *Simulation of Uranium and Plutonium Oxides Compounds Obtained in Plasma* // AIP Conference Proceedings, 2018. – V.1938. – Article number 020016. – P.1–5.

## ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ДВУХСТУПЕНЧАТЫЙ СИНТЕЗ ОКСИ-ГИДРОКСИДА Ni-Co КАК АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА ГИБРИДНОГО СУПЕРКОНДЕНСАТОРА

А.С. Сыкчин<sup>1</sup>, В.А. Коток<sup>1,2</sup>

Научный руководитель – к. т. н., доцент В.Л. Коваленко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Вятский государственный университет

610000, Россия, г. Киров, ул. Московская 36, alex.kirov@list.ru

<sup>2</sup>Украинский государственный химико-технологический университет

49005, Украина, г. Днепр, пр. Гагарина 8, vadimchem@gmail.com

Гидроксид никеля имеет высокую электрохимическую активность [1], именно поэтому он широко используется в разнообразных электрохимических устройствах [2].

Индивидуальный гидроксид, а также двойные гидроксиды никеля, являются активным веществом щелочных Ni–Cd, Ni–Fe и Ni–MeH аккумуляторов [3, 4]. Кроме того, гидроксид никеля используется в катодах литиевых аккумуляторов [5], в качестве активного вещества фарадеевского электрода гибридных суперконденсаторов [6].

Бинарные соединения Ni–Co являются перспективными активными веществами элек-

тродов суперконденсаторов. Изучены характеристики бинарных Ni–Co окси-гидроксидов, полученных высокотемпературным двухступенчатым синтезом при использовании горячего и холодного гидролиза. Кристаллическая структура образцов изучена методом рентгенофазового анализа и термогравиметрии, морфология частиц – методом сканирующей электронной микроскопии, электрохимические характеристики – методами циклической вольтамперометрии и гальваностатического зарядно-разрядного циклирования в суперконденсаторном режиме.

Методом сканирующей электронной микроскопии показано, что образцы холодного и